

**KUAT LENTUR BETON MENGGUNAKAN *BLENDED CEMENT* PADA VARIASI UMUR PERAWATAN,  
KOMPOSISI SEMEN DAN FLY ASH MENGGUNAKAN  
METODE *PACKING DENSITY* DAN *ACI***



**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Program Studi Strata I  
Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik**

Oleh :

**DANANG BAYU WIBOWO**  
**D100160226**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2020**

## HALAMAN PERSETUJUAN

### **KUAT LENTUR BETON MENGGUNAKAN *BLENDED CEMENT* PADA UMUR PERAWATAN, KOMPOSISI SEMEN DAN *FLY ASH* MENGGUNAKAN METODE *PACKING DENSITY* DAN *ACI***

#### **PUBLIKASI ILMIAH**

oleh :

**DANANG BAYU WIBOWO**  
**D 100 160 226**

telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing



**Ir. Suhendro Trinugroho, M.T.**

NIK. 732

## HALAMAN PENGESAHAN

### KUAT LENTUR BETON MENGGUNAKAN *BLENDED CEMENT* PADA UMUR PERAWATAN, KOMPOSISI SEMEN DAN *FLY ASH* MENGGUNAKAN METODE *PACKING DENSITY* DAN *ACI*

oleh :

**DANANG BAYU WIBOWO**  
**NIM : D 100 160 226**

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari 17 November 2020  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Ir.Suhendro Trinugroho, M.T. (NIK. 732)  
(Ketua Dewan Pembimbing)
2. Ir. Abdul Rachman, S.T., M.T. (NIP. 610)  
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Ali Rofiq, S.T., M.T  
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)  
(.....)  
(.....)



Dekan Fakultas Teknik

**Ir. Sri Sunaryono, M.T., PhD.,IPM**

NIK. 682

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 16 November 2020

Penulis,



Danang Bayu Wibowo

# KUAT LENTUR BETON MENGGUNAKAN *BLENDED CEMENT* PADA VARIASI UMUR, KOMPOSISI SEMEN DAN *FLY ASH* MENGGUNAKAN METODE *PACKING DENSITY* DAN *ACI*

## Abstrak

Beton merupakan hal yang paling utama dalam suatu konstruksi. Hampir pada setiap aspek pembangunan tidak dapat terlepas dari pada suatu beton. Dalam penelitian ini, bertujuan mencoba menemukan inovasi baru untuk menekan biaya pekerjaan konstruksi beton dengan menggunakan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dengan menggunakan variasi umur dan *blended cement* dengan menggunakan metode *packing density* untuk kepadatan agregat campuran dan *ACI* untuk campuran beton. Tinjauan pada penelitian ini yaitu kuat lentur beton menggunakan benda uji balok dengan panjang 60 cm tinggi 15 cm dan lebar 15 cm pada umur 1 hari, 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Menggunakan semen merk Gresik. Pasir berasal dari Masaran, Sragen dan batu pecah dari Masaran, Sragen dan FAS 0,50. Dari hasil penelitian ini didapatkan hasil kuat lentur beton tertinggi pada umur 1 hari sebesar 1,609 MPa, 3 hari sebesar 2,375 MPa, 7 hari sebesar 2,250 MPa pada beton *ACI* + *BC3* + *TL*, 14 hari sebesar 2,452 MPa pada beton *ACI* + *BC2* + *TL*, dan 28 hari sebesar 2,963 Mpa pada beton *ACI* + *BC2* + *TL*.

**Kata kunci :** *Packing density*, *Blended cement*, *fly ash*, uji kuat lentur.

## Abstract

Concrete is the most important thing in a construction. Almost every aspect of development cannot be separated from concrete. In this study, the objective of this research is to try to find new innovations to overcome the cost of concrete construction work by using fly ash as some part of cement by using variations in age and cement mixture using the packing density method for mixed aggregate density and *ACI* for concrete mixtures. The review in this study is the flexural strength of concrete using a test beam object with a length of 60 cm, 15 cm high and 15 cm wide at the age of 1 day, 3 days, 7 days, 14 days and 28 days. Using Gresik brand cement. Sand comes from Masaran, Sragen and crushed stone from Masaran, Sragen and FAS 0.50. From the research results obtained the highest concrete flexural strength at the age of 1 day of 1,609 MPa, 3 days of 2,375 MPa, 7 days of 2,250 MPa of *ACI* + *BC3* + *TL* concrete, 14 days of 2,452 MPa of *ACI* + *BC2* + *TL* concrete, and 28 days of 2,963 MPa on *ACI* + *BC2* + *TL* concrete.

**Keyword:** *Packing density*, *blended cement*, *fly ash*, flexural strength test.

## 1. PENDAHULUAN

Pembangunan dalam bidang konstruksi di era modern khususnya di Indonesia menunjukkan perkembangan yang sangat pesat, sehingga menuntut teknologi beton yang semakin inovatif. Beton yang sudah sangat lama digunakan sebagai

bahan bangunan, seperti pembangunan perumahan, kantor, rumah sakit, dan stadion. Oleh karena itu, diperlukan berbagai inovasi guna menghasilkan beton yang berkualitas, ramah lingkungan serta harga yang lebih ekonomis.

Menurut SNI 2847:2013, beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ( $f'_c$ ) pada usia 28 hari. Beton memiliki daya kuat tekan yang baik oleh karena itu beton banyak dipakai atau dipergunakan untuk pemilihan jenis struktur terutama struktur bangunan, jembatan dan jalan. Sedangkan Wuryati (2001), menjelaskan bahwa beton terdiri dari  $\pm 15\%$  semen,  $\pm 8\%$  air,  $\pm 3\%$  udara, selebihnya pasir dan kerikil. Campuran tersebut setelah mengeras mempunyai sifat yang berbeda-beda, tergantung pada cara pembuatannya. Perbandingan campuran, cara pencampuran, cara mengangkut, cara mencetak, cara memadatkan, dan sebagainya akan mempengaruhi sifat-sifat beton. Oleh sebab itu, masyarakat sudah banyak mencoba menciptakan berbagai inovasi beton baru salah satunya adalah pemanfaatan salah satu limbah pabrik yaitu *fly ash*.

*Fly ash* batubara adalah material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara (Wardani, 2008). Untuk mengurangi pemakaian semen, maka penggunaan *fly ash* yang merupakan limbah dari hasil pembakaran batu bara sebagai bahan pengganti semen dalam campuran beton merupakan salah satu solusi tepat. Selain itu penggunaan *fly ash* sebagai campuran beton merupakan salah satu upaya yang dapat dilakukan guna mengurangi masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, atau perairan, dan penurunan kualitas ekosistem.

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia semen adalah serbuk atau tepung yang terbuat dari kapur dan material lainnya yang dipakai untuk membuat beton, merekatkan batu bata ataupun membuat tembok. Semen adalah perekat hidrolik yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari bahan utama silikat-silikat kalsium dan bahan tambahan batu gips dimana senyawa-senyawa tersebut dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru bersifat perekat pada bebatuan yang mempunyai sifat *adhesive* dan *cohesive*, digunakan sebagai bahan pengikat (bonding material), yang dipakai bersama-sama dengan batu kerikil dan pasir.

*Packing density* adalah istilah yang dapat digunakan pada rencana campuran agregat. *High Performance Concrete* (HPC) agar diperoleh campuran dengan kepadatan maksimum yaitu dengan meminimalkan rongga kosong antar butiran. Prinsip teori *packing density* adalah merencanakan pemilihan gradasi butiran yang dapat mengurangi rongga-rongga antar agregat dengan maksimal, dalam penelitian ini penyusun menambahkan dengan *fly ash* abu limbah batu bara sebagai pengganti sebagian semen pada campuran beton.

*Blended cement* adalah istilah yang tidak asing di dunia teknik sipil maksudnya yaitu pencampuran bahan pengikat yang di hasilkan dengan cara menggiling bersama sama semen portland dan bahan yang mempunyai sifat pozolan, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dan bubuk bahan yang mempunyai sifat pozolan dan boleh di tambahkan bahan bahan lain asalkan tidak mengakibatkan penurunan kualitas, dalam penelitian biasanya menggunakan *fly ash*. (BPWS, Surabaya 2013)

Dalam penelitian ini, bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang menggunakan *blended cement* pada variasi umur pengujian dan komposisi bahan dengan perancangan campuran beton ACI. Penggunaan metode *packing density* untuk mengetahui kepadatan butiran agregat yang dapat meminimalkan rongga kosong antar butiran agregat pada campuran beton.

### **1.1 Rumusan Masalah**

Berdasarkan penjelasan dari latar belakang diatas, maka didapatkan rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Berapa nilai *packing density* tertinggi pada perbandingan persentase antara CA20 dan CA10 ?
2. Berapa nilai *packing density* tertinggi pada perbandingan persentase antara CA dan FA ?
3. Seberapa besar kuat lentur beton dengan menggunakan *blended cement* pada variasi umur pengujian dan komposisi bahan dengan perancangan campuran beton metode ACI 211.4R-93 ?
4. Apakah beton dari *blended cement* tersebut bisa digunakan untuk pekerjaan struktur ? baik untuk pekerjaan jalan beton maupun gedung bertingkat.

### **1.2 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian yang dilaksanakan ini sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai *packing density* tertinggi pada perbandingan persentase CA20 dan CA10.
2. Mengetahui nilai *packing density* tertinggi pada perbandingan persentase CA dan FA.
3. Mengetahui seberapa besar kuat lentur beton dengan menggunakan *blended cement* pada variasi umur pengujian dan komposisi bahan dengan perancangan campuran beton metode ACI 211.4R-93.
4. Mengetahui beton dari *blended cement* tersebut bisa digunakan atau tidak untuk pekerjaan struktur baik untuk pekerjaan jalan beton maupun gedung bertingkat.

### **1.3 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian yang dilaksanakan ini sebagai berikut :

1. Hasil penelitian ini merupakan salah satu inovasi guna menghasilkan beton yang berkualitas, dan sebagai upaya dalam mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah batubara.
2. Merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi limbah *fly ash* karena limbah tersebut termasuk dalam kategori limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya).
3. Hasil penelitian ini diharapkan menghasilkan campuran beton yang memiliki nilai kuat tekan yang sama atau lebih baik dari beton tanpa menggunakan *fly ash* batubara.

## **2. METODE**

Dalam penelitian ini diperlukan tahapan-tahapan penelitian yang berurutan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang direncanakan. Pada penelitian ini digunakan tujuh tahapan yaitu, sebagai berikut :

### **2.1 Penyediaan bahan dan persiapan alat**

Pada tahap I merupakan tahap persiapan yang terdiri dari beberapa kegiatan penyediaan bahan penyusun beton seperti semen, agregat halus, agregat kasar, *fly ash* limbah batu bara, air, dan mempersiapkan peralatan yang akan digunakan di laboratorium mini Ir.Suhendro Trinugroho, M.T. dan laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.

### **2.2 Pemeriksaan bahan dasar**

Pada tahap II merupakan pengujian kualitas semen, agregat halus, agregat kasar, semen dan *fly ash* yang akan digunakan dalam pencampuran adukan beton.



Pengujian semen meliputi pengujian berat jenis semen, pengujian ikatan awal semen, pengujian kehalusan semen dan kekekalan semen untuk menentukan zat yang tidak larut dalam air. Pengujian *fly ash* meliputi pengujian berat jenis *fly ash*, pengujian kehalusan *fly ash* dan kekekalan *fly ash* untuk menentukan zat yang tidak larut dalam air. Pengujian agregat halus meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan, pemeriksaan SSD, pengujian kandungan lumpur, gradasi agregat, pengujian kandungan bahan organik. Sedangkan pengujian agregat kasar meliputi pengujian berat jenis agregat, gradasi agregat, pemeriksaan keausan agregat

### **2.3 Perencanaan campuran beton dengan *Packing Density Method***

Pada tahap III merupakan tahap perencanaan campuran beton yang terdiri dari : Pengujian berat jenis dari campuran agregat. Pengujian bulk density maximum dari campuran agregat, dengan melakukan penimbangan cetakan kosong, timbang cetakan yang berisi agregat, ukur volume cetakan. Setelah dilakukan pengujian tersebut maka dapat dianalisa *bulk density* maximum, rongga udara, *packing density* maksimal, perencanaan campuran beton dengan asumsi rongga udara 10% maka kebutuhan agregat kasar, agregat halus, semen, air dapat dihitung dengan rumus yang ada pada BAB III.

### **2.4 Pembuatan benda uji**

Pada tahap IV merupakan tahap yang terdiri dari pembuatan benda uji balok beton dan perawatan beton. Pembuatan campuran adukan beton dengan proporsi bahan yang sudah direncanakan dan melakukan uji *slump* sampai mendapatkan hasil yang baik. Benda uji dibuat dengan cetakan balok dengan ukuran 150 x 150 x 600 mm, setelah benda uji dilepas dari cetakan, benda uji di selimuti kain kemudian di siram dengan air sebanyak dua kali sehari pada pagi hari dan sore hari selama 3, 7, 14 dan 28 hari.

### **2.5 Pengujian benda uji**

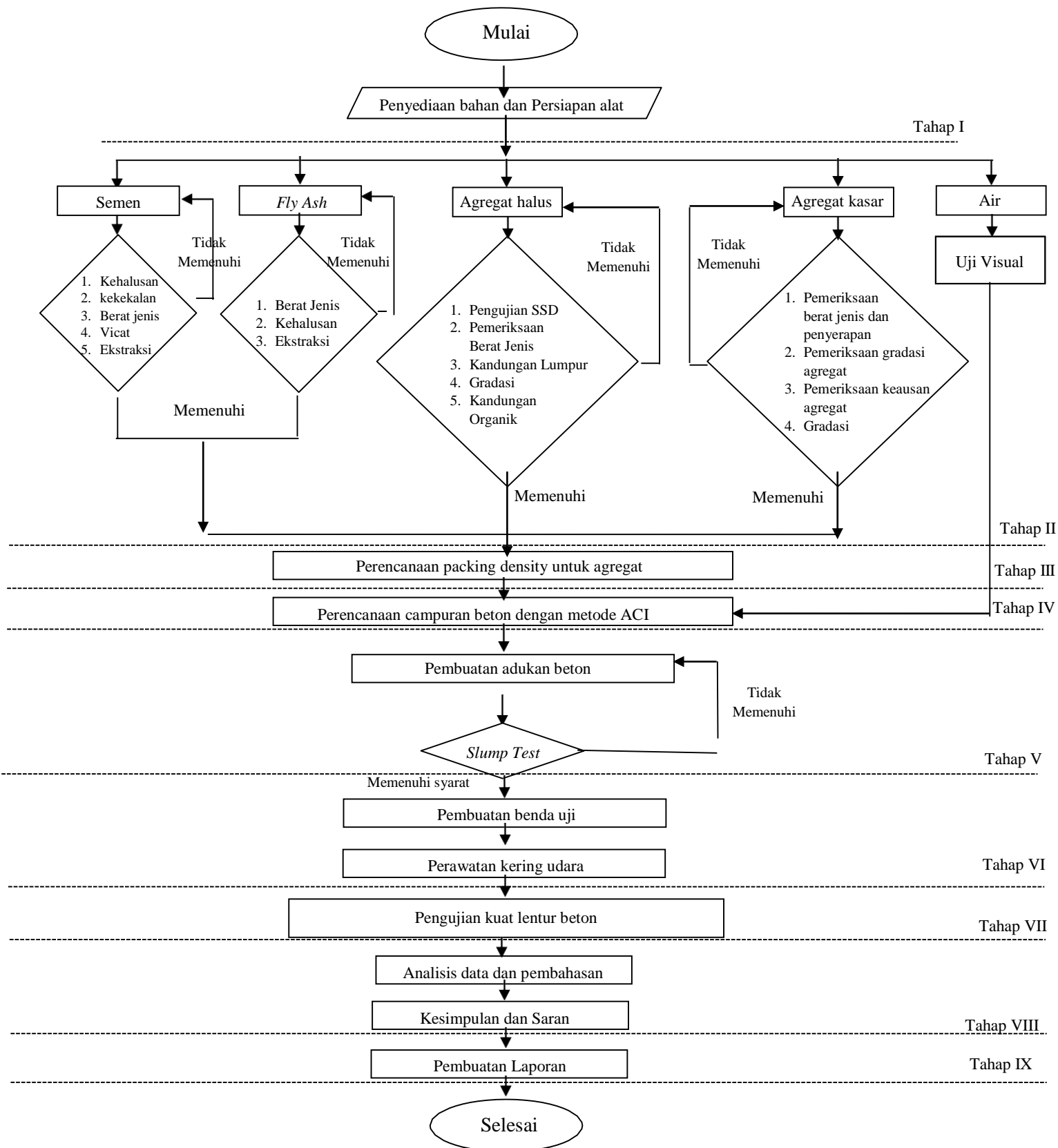
Pada tahap V merupakan tahap pengujian kuat lentur beton yang telah berumur 1 hari, 3 hari 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Sebelum benda uji balok beton dilakukan pengujian harus di ukur terlebih dahulu kemudian ditimbang pada saat sudah diuji untuk mengetahui berat jenis beton.

### **2.6 Analisis data dan pembahasan**

Pada tahap VI merupakan tahap analisis. Dari data yang didapatkan dari tahap IV dilakukan analisis data dan pembahasan dari hasil penelitian yang dilakukan agar didapatkan kesimpulan. Tahapan penelitian dapat dilihat pada bagan alir berikut ini

## **2.7 Pembuatan laporan**

Tahapan terakhir adalah pembuatan laporan. Semua data hasil pengujian direkap dan dicatat dengan rapi dan baik kemudian diolah sesuai dengan ketentuan yang ada. Tahapan penelitian dapat dilihat pada bagan alir berikut ini:



Gambar 1. Bagan alir penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pada penelitian ini semua bahan yang diperlukan dalam penelitian harus dilakukan pengujian bahan terlebih dahulu, dengan tujuan untuk mengetahui kualitas bahan yang digunakan dalam penelitian. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta, sebagai berikut :

##### 3.1.1 Pengujian agregat halus

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus dalam penelitian ini meliputi pengujian kandungan zat organik, *saturated surface dry* (SSD), kandungan lumpur, berat jenis, penyerapan, dan gradasi pasir. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil pengujian yang disajikan dalam Tabel 1. Untuk perhitungan dan data-data pengujian secara lengkap terdapat pada Lampiran 6 – 10.

Tabel 1. Hasil pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan	Standar Peraturan
Kandungan Organik	No. 3	$\leq$ No. 3	Memenuhi Syarat	SNI 03-2816-1992
Nilai <i>Saturated Surface Dry</i> (SSD)	2,42 cm	$> 3,5$ cm	Tidak Memenuhi Syarat	SNI 03-1970-2008
Berat Jenis	2,66	$\pm 2,50$	Tidak Memenuhi Syarat	SNI 03-1970-2008
Penyerapan	1,01 %	$< 3$ %	Memenuhi Syarat	SNI 03-1970-2008
Kandungan Lumpur	4,76 %	$< 5$ %	Memenuhi Syarat	SNI S-04-1989-F
Modulus Halus Butir (MHB)	3,25	1,5 – 3,8	Memenuhi Syarat	SK-SNI-T-15-1990-03
Gradasi Agregat Halus	Daerah I	Daerah I – IV	Memenuhi Syarat	SNI 03-1968-1990

- a. Pengujian kandungan bahan organik. Dari Tabel 1 diatas diperoleh hasil pengujian kandungan bahan organik dengan campuran larutan 3% NaOH dan agregat halus yang didiamkan selama  $\pm 24$  jam didapatkan cairan berwarna kuning. Menurut *Hellige Tester* warna yang ditunjukkan tersebut sesuai dengan nomor 3 (orange). Dengan demikian agregat tidak memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu  $<$  nomor 3.

- b. Pengujian *Saturated Surface Dry (SSD)*. Dari Tabel 1. diperoleh hasil pengujian *Saturated Surface Dry (SSD)* ternyata terdapat penurunan agregat halus sebesar 2,66 cm, sedangkan tinggi kerucut yang digunakan adalah 7 cm. Karena hasil dari pengujian yang didapat kurang dari setengah tinggi kerucut maka agregat halus tersebut belum dalam kondisi SSD. Dengan demikian agregat halus menyerap air pada campuran beton, sehingga mempengaruhi pada faktor air semen dalam campuran.
- c. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus. Dari Tabel 1. diperoleh nilai penyerapan 1,01 %, maka dapat disimpulkan bahwa agregat halus sudah memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu  $< 3 \%$ . Untuk pengujian berat jenis agregat halus didapatkan hasil sebesar 2,66, maka dapat disimpulkan bahwa agregat halus dalam pengujian termasuk agregat normal karena berat jenisnya berkisar pada 2,5. Dengan demikian agregat halus baik bila digunakan sebagai campuran adukan beton.
- d. Pengujian kandungan lumpur. Dari Tabel 1. diperoleh hasil pengujian kandungan lumpur pada agregat halus 4,76 %, jadi agregat halus telah memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu  $< 5 \%$ . Sehingga agregat halus tersebut dapat digunakan sebagai campuran adukan beton dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan.
- e. Pengujian modulus halus butir (MHB) agregat halus. Dari Tabel 1. diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) pasir sebesar 2,25, jadi agregat halus tersebut telah masuk dalam persyaratan yaitu berkisar 1,5 – 3,8, sehingga agregat halus dapat digunakan dalam campuran beton. Untuk lebih jelasnya mengenai hasil pemeriksaan ukuran butir agregat halus disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian ukuran butir agregat halus

No	Ukuran Ayakan (mm)	Berat Pasir (gr)	Koreksi	Berat Pasir Terkoreksi (gr)	Persentase Pasir Tertinggal (%)	Persentase Kumulatif (%)	
						Tertinggal	Lolos
1	9,5	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	4,75	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3	2,36	85	0,00	85,00	8,50	8,50	91,50
4	1,18	275	0,00	275,00	27,50	36,00	64,00
5	0,6	450	0,00	450,00	45,00	81,00	19,00

6	0,3	180	0,00	180,00	18,00	99,00	1,00
7	0,15	10	0,00	10,00	1,00	100	0,00
8	pan	0	0,00	0,00	0,00	-	0,00
$\Sigma$		1000	0,00	1000	100,00	324,50	375,50

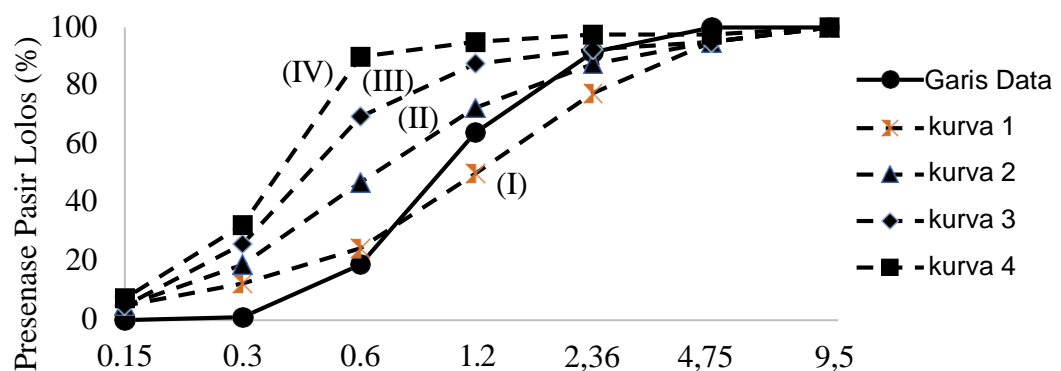
Tabel 3. Persen butiran yang lewat ayakan, (%) untuk agregat halus

Ukuran Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan				Hasil Penelitian (%)
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV	
9,5	100	100	100	100	100,00
4,75	95	95	95	97,5	100,00
2,36	77,5	87,5	92,5	97,5	91,50
1,18	50	72,5	87,5	95	64,00
0,6	24,5	47	69,5	90	19,00
0,3	12,5	19	26	32,5	1,00
0,15	5	5	5	7,5	0,00

(Sumber : Buku Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodinulyo, 2009)

- f. Pengujian gradasi agregat halus. Gradasi yang digunakan pada penelitian ini sebagaimana terlihat pada Tabel 2. kemudian dibuat grafik gradasinya pada Grafik 1. dan dapat disimpulkan bahwa garis warna hitam solid adalah berat komulatif pasir lolos saringan, dan garis putus – putus warna hitam solid adalah garis batas daerah untuk pasir lolos ayakan. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa gradasi pasir masuk dalam daerah I.

Hubungan Antara Ukuran Saringan dengan Presentase Kumulatif Lolos Pengujian Gradasi Agregat Halus



Grafik 1. Hubungan antara ukuran saringan dengan presentase kumulatif lolos pengujian gradasi agregat halus

### 3.1.2 Pengujian agregat kasar

Pengujian terhadap agregat kasar split (batu pecah) yang dipakai dalam penelitian ini meliputi pengujian keausan, berat jenis, penyerapan, dan gradasi agregat kasar. Hasil-hasil pengujian tersebut disajikan dalam Tabel 4. dan Tabel 5., sedangkan data hasil pengujian secara lengkap disajikan dalam Lampiran 11 – 15.

Tabel 4. Hasil pengujian agregat kasar 10 mm

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan	Standar Peraturan
Keausan	10,10 %	< 40 %	Memenuhi Syarat	SNI 04-60820-2002
Berat Jenis	2,71	2,5 – 2,7	Tidak Memenuhi Syarat	SNI 03-1969-1990
Penyerapan	2,56 %	< 3 %	Memenuhi Syarat	SNI 03-1969-1990
Gradasi Agregat Kasar	Tidak Masuk Spesifikasi	Daerah I – IV	Tidak Memenuhi Syarat	SNI-03-2834-2000
Modulus Halus Butir (MHB)	6,29	5 – 8	Memenuhi Syarat	SK-SNI-T-15-1990-03

Tabel 5. Hasil pengujian agregat kasar 20 mm

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan	Standar Peraturan
Keausan	9,30 %	< 40 %	Memenuhi Syarat	SNI 04-60820-2002
Berat Jenis	2,79	2,5 – 2,7	Tidak Memenuhi Syarat	SNI 03-1969-1990
Penyerapan	2,56	< 3 %	Memenuhi Syarat	SNI 03-1969-1990
Gradasi Agregat Kasar	Tidak Masuk Spesifikasi	Daerah I – IV	Tidak Memenuhi Syarat	SNI-03-2834-2000
Modulus Halus Butir (MHB)	8,02	5 – 8	Tidak Memenuhi Syarat	SK-SNI-T-15-1990-03

- a. Pengujian keausan agregat kasar . Dari Tabel 4. dan Tabel 5. diperoleh nilai persentase keausan agregat kasar 10 mm sebesar 10,10 % dan nilai persentase keausan agregat kasar 20 mm sebesar 9,30 %, jadi agregat kasar telah memenuhi syarat yaitu < 40%. Dengan demikian agregat kasar baik

untuk digunakan campuran beton.

- b. Pengujian berat jenis dan penyerapan. Dari Tabel 4. dan Tabel 5. diperoleh penyerapan agregat kasar 10 mm sebesar 2,56 % dan penyerapan agregat kasar 20 mm sebesar 2,56 %, sehingga agregat kasar memenuhi syarat  $< 3 \%$ . Untuk pengujian berat jenis agregat kasar 10 mm sebesar 2,71 dan berat jenis agregat kasar 20 mm sebesar 2,79, maka dapat disimpulkan bahwa untuk agregat kasar 10 mm dan untuk agregat kasar 20 mm dalam pengujian tidak memenuhi syarat sebagai agregat normal karena berat jenisnya berkisar 2,5 – 2,7. Dengan demikian agregat kasar kurang baik untuk digunakan dalam campuran beton.
- c. Pengujian modulus halus butir (MHB) agregat kasar. Dari Tabel 4. dan Tabel 5. diperoleh modulus halus butir (MHB) agregat kasar 10 mm sebesar 6,29 dan modulus halus butir (MHB) agregat kasar 20 mm sebesar 8,02, jadi agregat kasar masuk dalam persyaratan yang disyaratkan yaitu 5 – 8 sehingga agregat kasar dapat digunakan dalam campuran beton. Hasil pemeriksaan ukuran butiran agregat disajikan pada Tabel 6. dan Tabel 8. berikut:

Tabel 6. Pengujian ukuran butir agregat kasar 10 mm

No	Ukuran Ayakan (mm)	Berat Kerikil (gr)	Koreksi	Berat Kerikil Terkoreksi (gr)	Persentase Kerikil Tertinggal (%)	Persentase Kumulatif (%)	
						Tertinggal	Lolos
1	25,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3	12,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
4	9,50	1930,00	0,00	1930,00	38,60	38,60	61,40
5	4,75	2720,00	0,00	2720,00	54,40	93,00	7,00
6	2,36	280	0,00	280	5,60	98,60	1,40
7	1,18	30	0,00	30,00	0,60	99,20	0,80
8	0,60	30	0,00	30,00	0,60	99,80	0,20
9	0,30	10	0,00	10,00	0,20	100	0,00
10	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	100	0,00
11	pan	0,00	0,00	2,00	0,00	-	0,00
Total		5000,00	0,00	5000,00	100,00	629,20	370,80

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{\sum \% \text{ kumulatif tertinggal}}{100} = \frac{629,20}{100} = 6,29$$

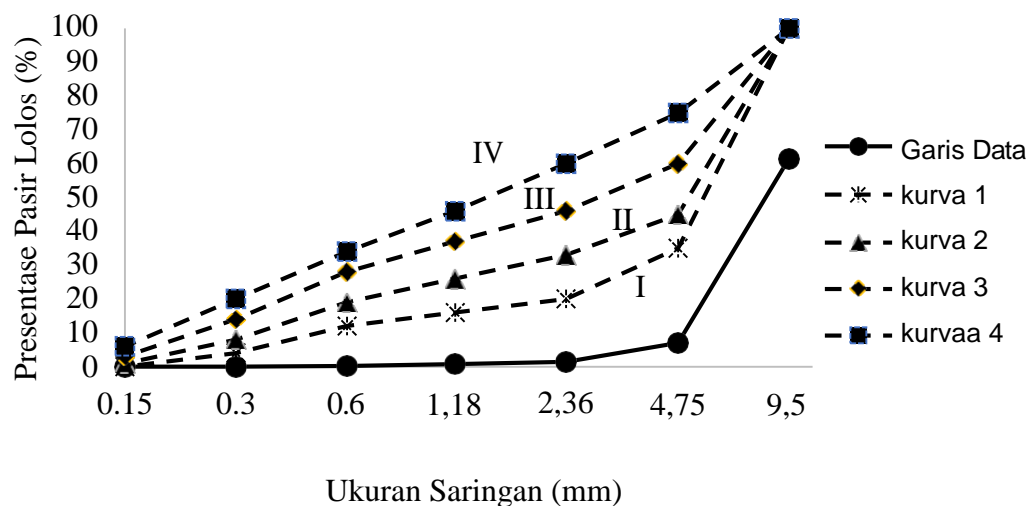


Tabel 7. Persen butiran yang lewat ayakan, (%) untuk agregat dengan butir maksimum 10 mm

Ukuran Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan				Hasil Penelitian (%)
	Kurva I	Kurva II	Kurva III	Kurva IV	
9,5	100	100	100	100	61,40
4,75	35	45	60	75	7,00
2,36	20	33	46	60	1,40
1,18	16	26	37	46	0,80
0,6	12	19	28	34	0,20
0,3	4	8	14	20	0,00
0,15	0	1	3	6	0,00

(Sumber : Buku Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo, 2009)

Hubungan antara ukuran saringan dengan presentase kumulatif lolos pengujian gradasi agregat kasar 10mm



Grafik 2. Hubungan antara ukuran saringan dengan presentase kumulatif lolos pengujian gradasi agregat kasar 10 mm

Tabel 8. Pengujian ukuran butir agregat kasar 20 mm

No	Ukuran Ayakan (mm)	Berat Kerikil (gr)	Koreksi	Berat Kerikil Terkoreksi (gr)	Persentase Kerikil Tertinggal (%)	Persentase Kumulatif (%)	
						Tertinggal	Lolos
1	19,00	485,00	0,00	485,00	9,70	9,70	90,30
2	9,50	340,00	0,00	340,00	6,80	99,30	0,70
3	4,75	35,00	0,00	35,00	0,70	100	0,00
4	2,36	0,00	0,00	0,00	0,00	100	0,00
5	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	100	0,00
6	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	100	0,00
7	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	100	0,00
8	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	100	0,00
9	pan	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00
Total		5000,00	0,00	5000,00	100,00	701,50	98,50

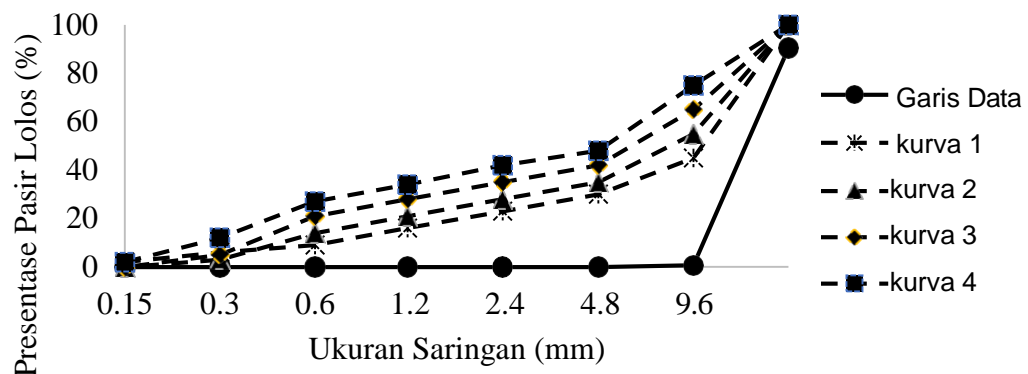
$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{\sum \% \text{ kumulatif tertinggal}}{100} = \frac{701,50}{100} = 7,02$$

Tabel 9. Persen butiran yang lewat ayakan, (%) untuk agregat dengan butir maksimum 20 mm

Ukuran Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan				Hasil Penelitian (%)
	Kurva I	Kurva II	Kurva III	Kurva IV	
19	100	100	100	100	90,30
9,5	45	55	65	75	0,70
4,75	30	35	42	48	0,00
2,36	23	28	35	42	0,00
1,18	16	21	28	34	0,00
0,6	9	14	21	27	0,00
0,3	2	3	5	12	0,00
0,15	0	0	0	2	0,00

(Sumber : Buku Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodinulyo, 2009)

Hubungan Antara Ukuran Saringan dengan Presentase Kumulatif Lolos Pengujian Gradasi Agregat Kasar 20 mm



Grafik 3. Hubungan antara ukuran saringan dengan presentase kumulatif lolos pengujian gradasi agregat kasar 20 mm

- d. Pengujian gradasi agregat kasar. Gradasi yang digunakan pada penelitian ini sebagaimana terlihat pada Tabel V.6. dan Tabel V.8. kemudian dibuat grafik gradasinya pada Grafik V.2. dan Grafik V.3. Dengan demikian disimpulkan bahwa garis warna hitam solid adalah berat komulatif kerikil lolos saringan, dan garis putus – putus warna adalah garis batas daerah untuk kerikil lolos ayakan. Gradasi dari kedua gambar tersebut tidak masuk dalam spesifikasi karena pada *stone crusher* agregat kasar sudah diayak sesuai ukuran masing-masing, namun agregat kasar masih bisa digunakan untuk campuran adukan beton.

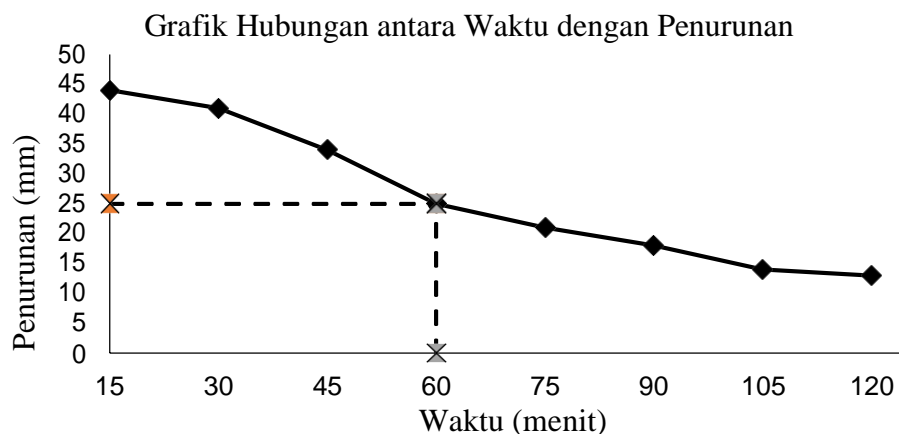
### 3.1.3 Pengujian semen

Semen yang digunakan adalah semen *Portland* dengan merk Gresik yang masih dalam kondisi baik, tidak terjadi penggumpalan dan masih berupa serbuk. Ada beberapa Pengujian semen yang dilakukan antara lain sebagai berikut :

- a. Pengujian ikatan awal semen. Dari pengujian ini diperoleh hasil waktu ikatan awal semen Gresik pada penurunan 25 mm dengan menggunakan alat *vicat apparatus*, yang lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel V.10. dan Grafik V.4. berikut :

Tabel 10. Hasil pengujian waktu ikat semen Gresik.

Percobaan	1	2	3	4	5	6	7	8
Waktu (menit)	15	30	45	60	75	90	105	120
Penurunan (mm)	37	32	25	21	17	15	13	12



Grafik 4. Grafik hubungan antara waktu dengan penurunan

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa waktu ikatan awal semen pada saat penurunan 25 mm yaitu selama 60 menit.

- b. Pengujian berat jenis semen. Dari pengujian ini diperoleh hasil berat jenis semen Gresik sebesar 3,14, maka dapat disimpulkan bawa semen sudah memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu 3,00 – 3,20, maka semen dapat digunakan untuk campuran adukan beton.

Tabel 11. Hasil pengujian berat jenis semen

Benda Uji	Berat Jenis Semen	SK SNI 15-2531-1991	Kesimpulan
I	3,30	3,00 – 3,20	Memenuhi Syarat
II	2,99		
BJ Semen Rata-rata	3,14		

- c. Pengujian kehalusan semen. Dari pengujian kehalusan semen didapatkan hasil persentase komulatif lolos saringan No. 100 sebesar 5,25 %, maka tidak memenuhi persyaratan yang di syaratkan yaitu 100 % dan presentase komulatif lolos saringan No. 200 sebesar 96,95 %, maka memenuhi persyaratan yaitu > 80 %. Dengan demikian semen kurang baik untuk digunakan campuran beton.

Tabel 12. Hasil pengujian kehalusan semen

No Saringan	Berat Semen Terkoreksi (gram)	Presentase Butir Tertahan (%)	Angka Kehalusan Semen (%)	SNI 15-2530-1991
No, 100	47,37	94,75	5,25	100
No.200	1,53	3,05	96,95	> 80
Pan	1,10	2,20	97,80	
Jumlah	48,17	100		

- d. Pengujian ekstrasi semen. Dari pengujian ekstrasi semen didapatkan hasil bahwa persentase semen tak larut dalam air pada semen gresik lebih kecil dibandingkan dengan semen dengan merk lainnya, dan memenuhi persyaratan yang disyaratkan menurut SNI 15-2049-2004 yaitu nilai maksimum yang diizinkan 1,5%.

Tabel 13. Hasil pengujian ekstrasi semen

Benda Uji	Berat semen (gr)	Berat bandul (gr)	Berat bandul + semen tak larut (gr)	Berat semen tak larut (gr)	Persentase semen tak larut (%)	SNI 15-2049-2004
Semen Gresik	1	0,09	0,10	0,01	1	Maksimum 1,5 %
Semen Dynamix	1	0,09	0,17	0,08	8	
Semen Extra Power	1	0,09	0,13	0,04	4	
Power Max	1	0,09	0,16	0,07	7	

#### 3.1.4 Pengujian *fly ash*

*Fly ash* yang digunakan adalah yang terbaik diantara *fly ash* dari Paiton, Tjiwi, dan Lestari, masing-masing *fly ash* tersebut masih dalam kondisi baik, tidak terjadi penggumpalan dan masih berupa serbuk. Ada beberapa pengujian *fly ash* yang dilakukan antara lain sebagai berikut :

- Pengujian berat jenis *fly ash*. Dari pengujian ini diperoleh hasil berat jenis *fly ash* dari Paiton sebesar 2,217, Tjiwi sebesar 2,291 dan Lestari sebesar 2,137, dari ketiga *fly ash* tersebut maka dapat disimpulkan bahwa ketiganya sudah memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu 1,9 – 2,55, maka *fly ash* tersebut dapat digunakan untuk campuran adukan beton. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel V.14

Tabel 14. Hasil pengujian berat jenis semen

Benda Uji	Berat Jenis Fly Ash	Standar	Kesimpulan
Paiton	2,217	1,9 – 2,55	Memenuhi Syarat
Tjiwi	2,291		
Lestari	2,137		

- Pengujian kehalusan *fly ash*. Dari pengujian kehalusan *fly ash* didapatkan bahwa angka kehalusan *fly ash* dari paiton pada saringan No 100 lebih besar daripada *fly ash* yang berasal dari Tjiwi dan Lestari, yang lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel V.1

Tabel 15. Hasil pengujian kehalusan semen

Benda Uji	NoSaringan	Presentase Butir Tertahan (%)	Angka Kehalusan Fly Ash (%)
Paiton	No. 100	2,27	97,73
	No.200	11,36	88,64
	Pan	86,36	13,64
Tjiwi	No. 100	4,26	95,74
	No.200	4,26	95,74
	Pan	91,49	8,51
Lestari	No. 100	4,65	95,35
	No.200	11,63	88,37
	Pan	83,72	16,28

- c. Pengujian ekstrasi fly ash. Dari pengujian ekstrasi fly ash didapatkan hasil bahwa persentase fly ash tak larut dalam air pada fly ash dari paiton lebih kecil dibandingkan dengan fly ash yang berasal dari daerah lainnya. Selanjutnya fly ash paiton digunakan untuk pembuatan *blended cement*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel V.16

Tabel 16. Hasil pengujian ekstrasi fly ash

Benda Uji	Berat fly ash (gr)	Berat bandul (gr)	Berat bandul + fly ash tak larut (gr)	Berat fly ash tak larut (gr)	Persentase fly ash tak larut (%)
FA Tjiwi	1	0,09	0,14	0,05	5
FA Lestari	1	0,09	0,13	0,04	4
FA Paiton	1	0,09	0,10	0,01	1

### 3.2 Pengujian *Packing Density*

Pada penelitian ini pengujian *packing density* digunakan untuk menentukan kepadatan maksimum suatu agregat dengan cara menggabungkan partikel agregat untuk meminimalkan rongga-rongga antar agregat sekecil mungkin. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium mini bapak Ir.Suhendro Trinugroho,M.T. sebagai berikut :

#### 3.2.1 Pengujian *bulk density*

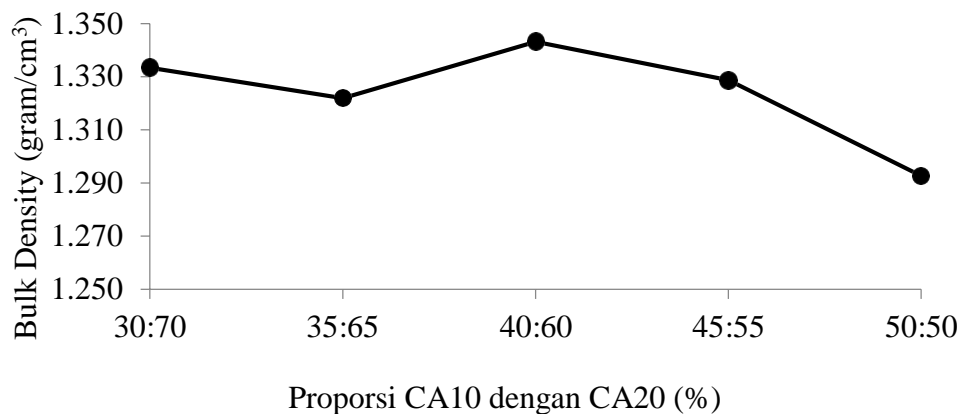
- a. Pengujian *bulk density* campuran agregat kasar 20 mm dan agregat kasar 10 mm. Dari pengujian *bulk density* campuran CA 10 mm dan CA 20 mm dengan proporsi perbandingan berdasarkan berat yaitu 50:50, 45:55, 40:60, 35:65, 30:70, didapatkan nilai *bulk density maksimum* yang tertinggi sebesar 1,3432

gram/cm<sup>3</sup> pada proporsi perbandingan 40:60. Sehingga dari nilai *bulk density maximum* dapat dihitung nilai *packing density maximum* yaitu sebesar 0,6144 gram/cm<sup>3</sup> dan nilai *voids minimum* sebesar 51,1021 %. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 17. – 19. dan Grafik 5. – 7. berikut :

Tabel 17. Hasil perhitungan *bulk density* campuran CA 10 mm dan CA 20 mm

Proporsi Agregat (%)		Berat Agregat (gram)		Total Berat Campuran (gram)	Diameter (cm)	Tinggi Agregat Setelah ditusuk (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Bulk Density (gram/cm <sup>3</sup> )
CA 10	CA 20	CA 10	CA 20					
50	50	3250	3250	6500	14,99	28,49	5028	1,2928
45	55	2925	3575			27,72	4892	1,3287
40	60	2600	3900			27,42	4839	1,3432
35	65	2275	4225			27,86	4917	1,3220
30	70	1950	4550			27,62	4874	1,3335

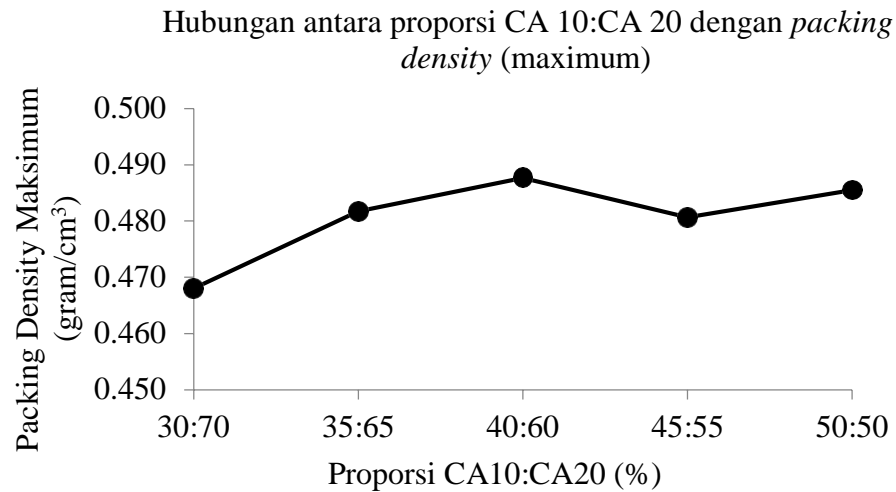
Hubungan Antara Proporsi CA10:CA20 dengan Bulk Density



Grafik 5. Hubungan antara proporsi CA10 : CA20 dengan *bulk density*

Tabel 18. Hasil perhitungan *packing density* campuran CA 10 mm dan CA 20 mm

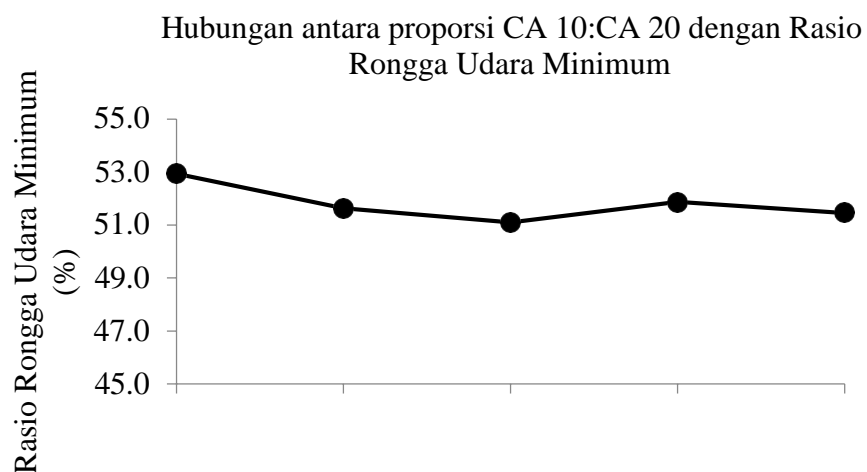
Weight proportion of course aggregate (%)		Weight fraction of aggregates	Specific Gravity		Maximum Bulk Density (gram /cm <sup>3</sup> )	Maximum Packing Density (gram/cm <sup>3</sup> )
CA 10 mm	CA 20 mm		CA 10 mm	CA 20 mm		
30	70	30:70	2,34	2,56	1,3335	0,4828
35	65	35:65	2,34	2,56	1,3220	0,4793
40	60	40:60	2,34	2,56	1,3432	0,4877
45	55	45:55	2,34	2,56	1,3287	0,4831
50	50	50:50	2,34	2,56	1,2928	0,4707



Grafik 6. Hubungan antara proporsi CA 10:CA 20 mm dengan *packing density* (maximum)

Tabel 19. Hasil perhitungan *minimum void ratio* campuran CA 20 mm dan CA 10 mm

Weight proportion of coarse aggregate (%)		Weight fraction of aggregates	Specific Gravity		Maximum Bulk Density (gram /cm <sup>3</sup> )	Minimum Void Ratio (%)
CA 10 mm	CA 20 mm		CA 10 mm	CA 20 mm		
30	70	30:70	2,34	2,56	1,3335	51,4562
35	65	35:65	2,34	2,56	1,3220	51,8743
40	60	40:60	2,34	2,56	1,3432	51,1021
45	55	45:55	2,34	2,56	1,3287	51,6313
50	50	50:50	2,34	2,56	1,2928	52,9385





30:70      35:65      40:60      45:55      50:50

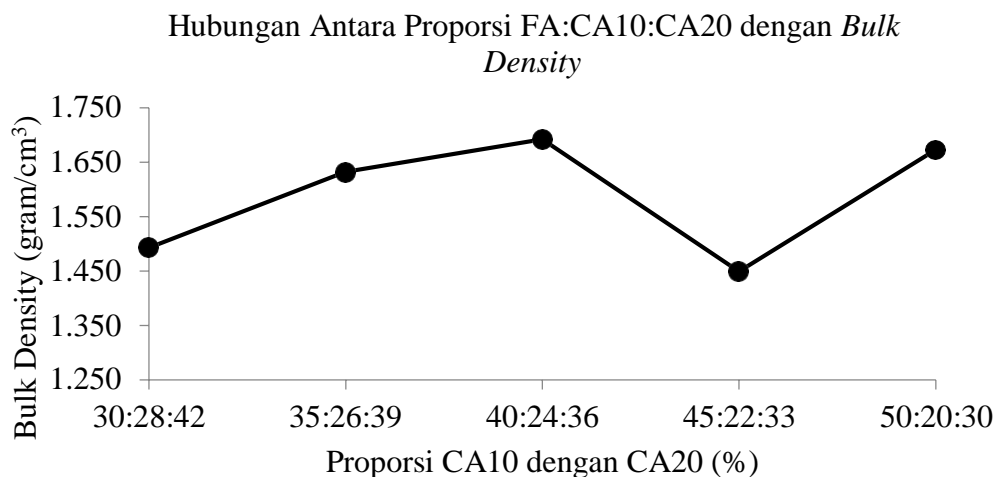
Proporsi CA10:CA20 (%)

Grafik 7. Hubungan antara proporsi CA 10:CA 20 dengan rasio rongga udara minimum

- b. Pengujian *bulk density* campuran CA dan FA. Dari pengujian *bulk density* campuran CA 10 mm dan CA 20 mm didapatkan nilai *bulk density maksimum* pada proporsi perbandingan 40:60, maka pengujian *bulk density* campuran CA 10 mm, CA 20 mm dan FA dengan proporsi perbandingan berdasarkan berat yaitu 20:30:50, 22:33:45, 24:36:40, 28:42:30, 26:39:35, didapatkan nilai *bulk density maximum* yang tertinggi sebesar 1,6918 gram/cm<sup>3</sup> pada proporsi perbandingan 36:24:40. Sehingga dari nilai *bulk density maximum* dapat dihitung nilai *packing density maximum* yaitu sebesar 0,7897 gram/cm<sup>3</sup> dan nilai *voids minimum* sebesar 16,4388 % Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 22. – 24. dan Grafik 8. – 10. berikut :

Tabel 20. Hasil pengujian *bulk density* campuran CA dan FA

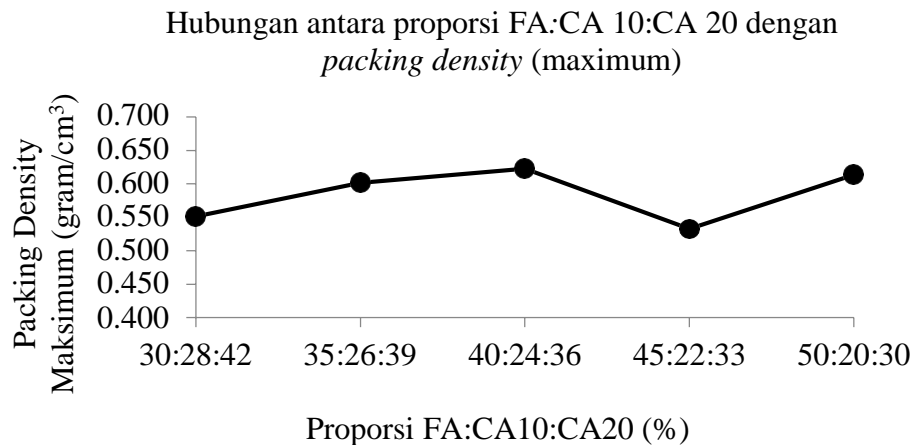
Proporsi Agregat (%)			Berat Agregat (gram)			Total Berat Campuran (gram)	Diameter (cm)	Tinggi Agregat Setelah ditusuk (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Bulk Density (gram/cm <sup>3</sup> )
FA	CA 10	CA 20	FA	CA 10	CA 20					
50	20	30	3250	1300	1950	6500	14,99	25,41	4484	1,4495
45	22	33	2925	1430	2145			22,02	3886	1,6726
40	24	36	2600	1560	2340			21,77	3842	1,6918
35	26	39	2275	1690	2535			22,57	3983	1,6319
30	28	42	1950	1820	2730			24,67	4354	1,4930



Grafik 8. Hubungan antara proporsi FA:CA10:CA20 dengan *bulk density*

Tabel 21. Hasil perhitungan *packing density* campuran CA dan FA

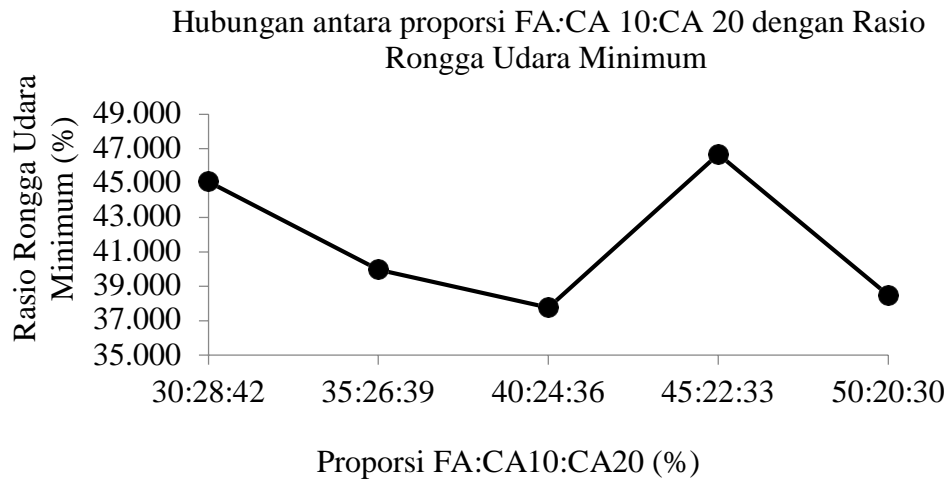
Weight proportion of CA and FA (%)			Weight fraction of aggregates	Specific Gravity			Maximum Bulk Density (gram/cm <sup>3</sup> )	Maximum Packing Density (gram/cm <sup>3</sup> )
FA	CA 10	CA 20		FA	CA 10 mm	CA 20 mm		
50	20	30	50:20:30	2,66	2,71	2,79	1,4495	0,5355
45	22	33	45:22:33	2,66	2,71	2,79	1,6726	0,6168
40	24	36	40:24:36	2,66	2,71	2,79	1,6918	0,6228
35	26	39	35:26:39	2,66	2,71	2,79	1,4930	0,5487
30	28	42	30:28:42	2,66	2,71	2,79	1,6319	0,5987



Grafik 9. Hubungan antara *proporsi* FA:CA 10:CA 20 dengan *packing density* (maximum)

Tabel 22. Hasil perhitungan *minimum void ratio* campuran CA dan FA

Weight proportion of course aggregate (%)			Weight fraction of aggregates	Specific Gravity			Maximum Bulk Density (gram /cm3)	Minimum Void Ratio (%)
FA	CA 10	CA 20		FA	CA 10 mm	CA 20 mm		
50	20	30	50:20:30	2,66	2,71	2,79	1,4495	46,6799
45	22	33	45:22:33	2,66	2,71	2,79	1,6726	38,4713
40	24	36	40:24:36	2,66	2,71	2,79	1,6918	37,7647
35	26	39	35:26:39	2,66	2,71	2,79	1,4930	45,0805
30	28	42	30:28:42	2,79	2,71	2,66	1,6319	39,9706



Grafik 10. Hubungan antara proporsi FA:CA 10:CA20 dengan rasio rongga udara minimum

Tabel 23. Pengujian gradasi campuran (pasir dan kerikil)

No	Ukuran Ayakan (mm)	Berat butir yang lolos			Persentase Kumulatif (%)	
		40%	36%	24%		
		Pasir (%)	Kerikil 20 mm (%)	Kerikil 10 mm (%)	Tertinggal	Lolos
1	19,00	40,00	32,51	24,00	3,49	96,51
2	9,50	40,00	0,25	14,74	45,01	54,99
3	4,75	36,60	0,00	1,68	61,72	38,28
4	2,36	25,60	0,00	0,34	74,06	25,94
5	1,18	7,60	0,00	0,19	92,21	7,79
6	0,60	0,40	0,00	0,05	99,55	0,45
7	0,30	0,00	0,00	0,00	100	0,00
8	0,15	0,00	0,00	0,00	100	0,00
9	pan	0,00	0,00	0,00	-	0,00
Total					576,05	390,65

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{\sum \% \text{ kumulatif tertinggal}}{100} = \frac{576,05}{100} = 5,76$$

Tabel 24. Persen butiran yang lewat ayakan, (%) untuk agregat dengan butir maksimum 20 mm

Ukuran Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan				Hasil Penelitian (%)
	Kurva I	Kurva II	Kurva III	Kurva IV	
19	100	100	100	100	96,51
9,5	45	55	65	75	54,99
4,75	30	35	42	48	38,28
2,36	23	28	35	42	25,94
1,18	16	21	28	34	7,79
0,6	9	14	21	27	0,45
0,3	2	3	5	12	0,00
0,15	0	0	0	2	0,00

(Sumber : Buku Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo, 2009)

Grafik 11. Hubungan antara ukuran saringan dengan presentase kumulatif lolos pada gradasi campuran (pasir dan kerikil)

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa gradasi agregat campuran pasir dan kerikil berada di kurva daerah II

### 3.2.2 Perancangan campuran adukan beton

Pada penelitian ini perancangan campuran adukan beton menggunakan metode *Packing Density* (PD), dan *American Concrete Institute* (ACI).

Tabel 25. Hasil perancangan campuran adukan beton normal (PD-ACI)

Mutu Beton	Metode	Kebutuhan proporsi campuran					
		Air (Lt/m <sup>3</sup> )	Semen (Kg/m <sup>3</sup> )	Fly Ash Paiton (Kg/m <sup>3</sup> )	Pasir (Kg/m <sup>3</sup> )	Kerikil 10 mm (Kg/m <sup>3</sup> )	Kerikil 20 mm (Kg/m <sup>3</sup> )
f <sub>c</sub> 35	ACI	203,00	676,67	-	650	360	540
	ACI + BC1 + TL	203,00	609,003	67,667	650	360	540
	ACI + BC2 + TL	203,00	541,336	135,334	650	360	540
	ACI + BC3 + TL	203,00	203,001	203,001	650	360	540

Dari perancangan diatas yang dimaksud BC (*Blended Cement*) yaitu sebagai proporsi semen dengan fly ash, sedangkan TL yaitu mengacu pada sisa blended cement yang tidak larut dan untuk ACI yaitu sebagai metode perancangan adukan beton menggunakan rumus perhitungan ACI 211.4R-93.

## 3.3 Pengujian Beton

### 3.3.1 *Workability* adukan beton

*Workablity* adukan beton adalah dengan cara melakukan uji *slump test*

dengan tujuan untuk mengetahui kekentalan adukan beton dari nilai *slump* agar dapat memenuhi syarat yang ditentukan. Kekentalan adukan beton dapat diperiksa dengan pengujian *slump test* maka harus diambil langsung dari mesin pengaduk dengan menggunakan ember atau alat yang tidak menyerap air. Bila perlu adukan beton diaduk lagi sebelum pengujian *slump test*, *mix design* untuk *slump test* dari penelitian ini adalah 3 – 5 cm. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan kerucut *abram* 's yang berdiameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dan tinggi 30 cm. Hasil pengujian *slump test* disajikan pada Tabel 24. berikut :

Tabel 26. Hasil pengujian *slump test* pada adukan

Jenis Beton	PD-ACI	PD-ACI BC 1	PD-ACI BC 2	PD-ACI BC 3
<i>Rata-rata Slump (cm)</i>	4,50	4,50	4,50	4,00

Dalam pelaksanaan di laboratorium, nilai *slump test* yang dipakai pada penelitian diperuntukkan untuk pembetonan plat lantai, balok, kolom dan dinding dari PBI 1971 N.1.-2, yaitu sebesar 2,5 – 7,5 cm. Hasil penelitian menunjukkan nilai *slump test* memenuhi syarat direncanakan karena nilai rata-rata seperti yang ditunjukkan pada tabel V.26, untuk mengetahui lebih jelas cara pengujian lihat Gambar 2. berikut.



Gambar 2. Pengujian *slump test*

### 3.3.2 Hasil pengujian kuat lentur beton

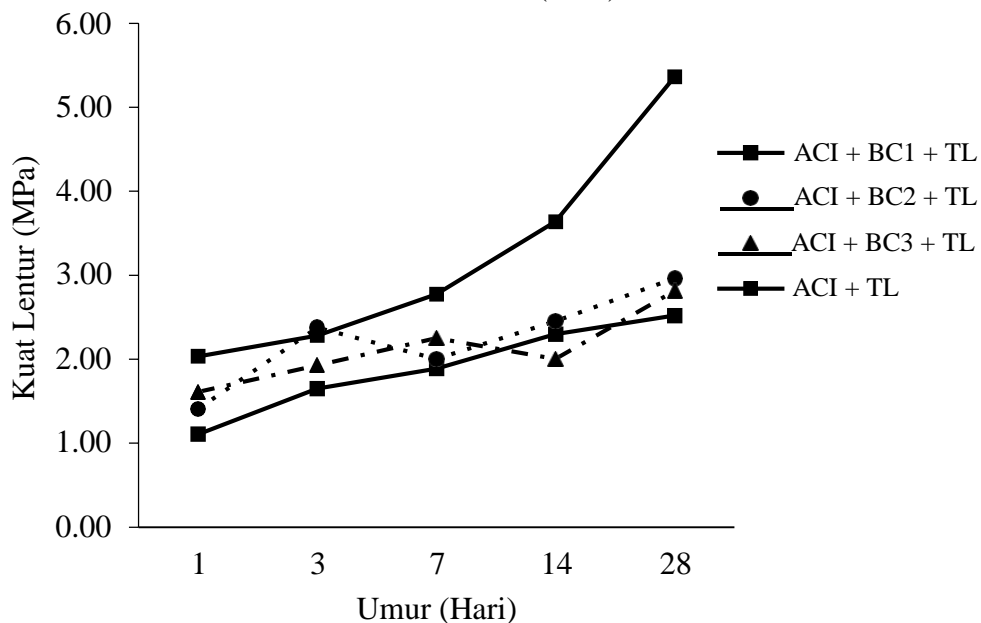
Pengujian kuat lentur beton dilakukan dengan menggunakan alat uji lentur

beton yaitu UTM (*Universal Testing Machine*), hasil dari percobaan kuat lentur yang telah dilaksanakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 26 – 30 dan dirangkum pada Tabel 27. berikut :

Tabel 27. Hasil pengujian kuat lentur beton

Jenis Beton	Kuat Lentur Beton (MPa)				
	Umur (Hari)				
	1	3	7	14	28
ACI + TL	2,033	2,280	2,773	3,637	5,364
ACI + BC1 + TL	1,107	1,649	1,888	2,298	2,519
ACI + BC2 + TL	1,408	2,375	2,000	2,452	2,963
ACI + BC3 + TL	1,609	1,926	2,250	2,000	2,815

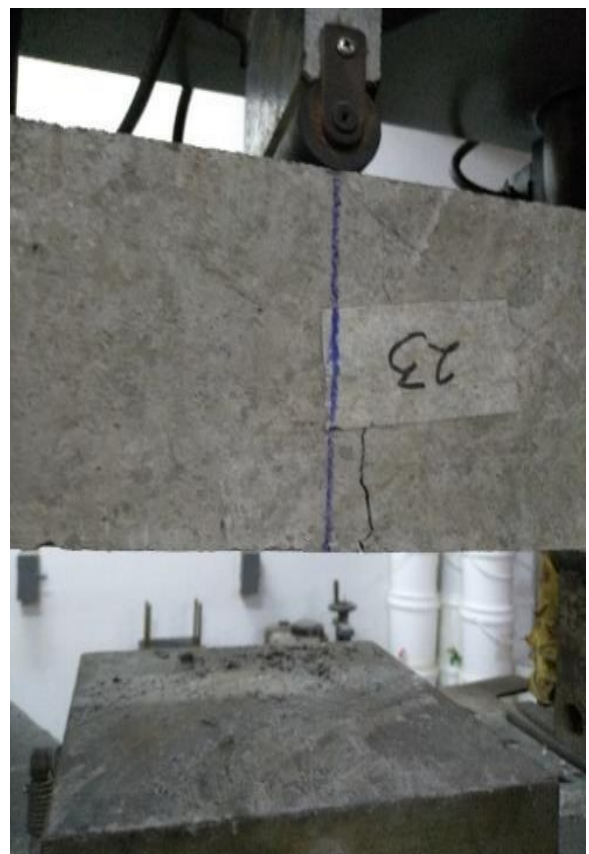
Hubungan antara umur (hari) dengan kuat lentur beton rata-rata (MPa)



Grafik 12. Hubungan antara umur (hari) dengan kuat lentur beton (MPa)

Dari grafik diatas menunjukkan pengaruh penggunaan *fly ash* terhadap kuat lentur betonnya. Kuat lentur beton ACI + BCI + TL lebih tinggi dari pada beton ACI + BC2 + TL dan ACI + BC3 + TL pada umur beton 1 hari. Namun pada umur 3 hari, 7 hari, dan 14 hari beton ACI + BCI + TL mempunyai kuat lentur yang paling rendah. Kuat lentur beton ACI + BC2 + TL lebih tinggi dari pada beton ACI + BC1 + TL dan ACI + BC3 + TL pada umur beton 3 hari. Pada umur 28 hari Kuat lentur beton ACI + BC2 + TL mempunyai kuat lentur yang paling tinggi. Kuat lentur beton ACI + BC2 + TL lebih tinggi dari pada beton ACI + BC1 + TL dan ACI + BC3 + TL pada umur beton 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Namun pada umur

1 hari, beton ACI + BC3 + TL mempunyai kuat lentur yang paling rendah. Dengan demikian nilai kuat lentur beton tertinggi sesuai umur beton, pada umur 1 hari sebesar 1,609 MPa, 3 hari sebesar 2,375 MPa, 7 hari sebesar 2,250 MPa pada beton ACI + BC3 + TL, 14 hari sebesar 2,452 MPa pada beton ACI + BC2 + TL, dan 28 hari sebesar 2,963 Mpa pada beton ACI + BC2 + TL.



Gambar 3. Pengujian lentur balok beton.

#### 4. PENUTUP

##### 4.1 Kesimpulan

Pada penelitian tentang kuat lentur beton menggunakan *blended cement* pada variasi umur, komposisi semen dan fly ash menggunakan metode *packing density* dan SNI mengacu sisa *blended cement* yang tidak larut sebagai agregat halus yang telah diteliti di Laboratorium mini Ir.Suhendro Trinugroho,M.T dan Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Dari hasil pengujian agregat campuran CA20 dan CA10 diperoleh nilai *packing density* tertinggi adalah 0,4877 gram/cm<sup>3</sup> pada proporsi CA20 60% dan CA10 40%
- b. Dari hasil pengujian agregat campuran CA dan FA diperoleh nilai *packing density* tertinggi adalah 0,6228 gram/cm<sup>3</sup> pada proporsi CA 60% dan FA 40%
- c. Proporsi agregat campuran adukan beton dengan metode *packing density* didapatkan proporsi perbandingan berdasarkan berat yaitu agregat kasar 20 mm 36 % : agregat kasar 10 mm 24 % : agregat halus 40 %.
- d. Dari hasil pengujian kuat lentur beton pada umur 1 hari, 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari didapatkan nilai kuat lentur beton tertinggi 1,609 MPa (ACI+BC3+TL umur 1 hari); 2,375 MPa (ACI+BC2+TL umur 3 hari); 2,250 MPa (ACI+BC3+TL umur 7 hari); 2,452 MPa (ACI+BC2+TL umur 14 hari); dan 2,963 MPa (ACI+BC2+TL umur 28 hari)

**4.2** Dari hasil pengujian kuat lentur beton menunjukkan bahwa beton hasil *blended cement* tidak memenuhi syarat untuk pekerjaan jalan beton dikarenakan kuat lentur tertinggi pada umur 28 hari 2,963 MPa (ACI+BC2+TL umur 28 hari) kurang dari yang disyaratkan menurut buku Spesifikasi Umum Edisi 2010 (revisi 3) yaitu  $F_s = 45 \text{ kg/cm}^2$  atau 4,4 MPa.

##### 4.3 Saran

Setelah melakukan penelitian di Laboratorium mini milik Ir.Suhendro Trinugroho, M.T dan Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta, Untuk menindaklanjuti penelitian ini kiranya perlu dilakukan beberapa



koreksi agar penelitian-penelitian selanjutnya dapat lebih baik. Adapun saran-saran untuk penelitian selanjutnya antara lain :

- a. Kondisi benda uji yang kurang baik akan berpengaruh terhadap nilai kuat lentur meskipun metode yang telah dilakukan sudah benar sesuai yang dianjurkan.
- b. Perlu dipilih teknik pencampuran yang tepat pada saat proses pembuatan beton agar semua bahan dapat tercampur menjadi satu adonan beton yang baik.
- c. Penelitian ini bisa dilanjutkan ke penelitian berikutnya dengan variasi yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alkhaly, Y. R. 2016. *Perbandingan Rancangan Campuran Beton Berdasarkan SNI 03-2834-2000 Dan SNI 7656 : 2012 Pada Mutu Beton 20 MPa*, Teras Jurnal, 6(1), pp. 11–18.
- Anonim. 1999. “Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999, tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun”, Jakarta: Sekretariat Bapedal.
- Asroni, Ali. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha ilmu.
- Celik, T. And Marar, K., 1996, *Effects of Crushed Stone Dust on Some Properties of Concrete*, Cemen and Concrete Research Vol.26, No.7, Pergamon.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1982, Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Djiwantoro, 2001. *Pemanfaatan abu terbang batubara (fly ash) sebagai bahan bangunan*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Husnah. Rahmat Tisnawan., dan Anton Setiyoko. 2018. *Analisis Kuat Lentur Beton Sebagai Bahan Pengganti Semen Dengan Fly Ash (Limbah Amp)*. Pekanbaru: Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Abdurrah.
- Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kastubi, Rochmat. Taufiq Lilo A.S., dan Enarwati **Sri S.** 2015. *Pengaruh Variasi Penggunaan Limbah Styrofoam dan Fly-Ash Terhadap Kuat Lentur Beton Ringan Struktural*. Surakarta: Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas SebelasMaret.

- Kholishoh, Siti. 2014. *Pengaruh Perbedaan Sumber Fly Ash Terhadap Karakteristik Mekanik High Volume Fly Ash Concrete*. Surakarta: Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Kurniati, Dwi. 2018. *Penguatan Kapasitas Lentur Beton Dengan Pemanfaatan Limbah*. Yogyakarta: Program studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Teknologi Yogyakarta
- Kwan, K. H. A. and H.C.Henry, W. 2005. *Packing Density: A Key Concept for Mix Design of High Performance Concrete*, in Proceedings of the materials science and technology in engineering conference, HKIE materials division. Hongkong, pp. 1–15.
- Maryoto, Agus. 2008. *Pengaruh Penggunaan High Volume Fly ash pada Kuat Tekan Mortar*. Purwokerto: Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, volume 10, No.2. Juli 2008.
- Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: ANDI.
- Nawy, G. Edward. 1998. *Beton Bertulang: suatu pendekatan dasar*. Diterjemahkan oleh : Suryoatmono, Bambang. Bandung : Refika Aditama.
- Nugraha, Paul. dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton dan Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Nurtanto, Dwi. 2016. *Kontribusi Kuat Lentur Polikarbonat Pada Pelat Beton Berpori*. Jember: Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Paat, Filia E.S. Steenie E., dan Wallah Reky S. Windah. 2014. *Kuat Tarik Lentur Beton Geopolymer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash)*. Manado: Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Paripurna, Maulana Teguh . 2019. *Beton Dengan Campuran Air Es Dan Fly Ash Serta Retarder*. Semarang: Akademi Teknik Wacana Manunggal Semarang.
- Raj Narasimha, G Suresh Patil, & Bhattacharjee B. 2014. “*Concrete Mix Design By Packing Density Method*”. Delhi: Indian Institute of Technology.
- Samekto, Wuryati. dan Rahmadiyanto, Candra. 2001. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Kanisius.
- Sari, Rika Amenetya. Eva Arifi., dan Christin Remayanti Nainggolan. 2017.

- Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Kuat Lentur Beton Porous Dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)*. Malang: Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Siswati, Nana Dyah. Fikri Adji Ardiantono., dan Lintang Karunia Putri. 2018. *Karakterisasi Komponen Aktif Pozzolan Untuk Pengembangan Portland Pozzolan Cement (PPC)*. Surabaya: Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
- American Concrete Institute. (1993). *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*, ACI 211.4R-93. Farmington Hills, United States
- SNI 03-2834-2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- SNI 03-4154-1996. *Metode Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Balok Uji Sederhana yang Dibebani Terpusat Langsung*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- SNI 03-6861.1-2002. *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- SNI 15-2049-2004. *Semen Portland*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- SNI 2847:2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Yamamoto. 2006. *Fly Ash As A Cemen Mixture, CREPE, Public Communications Group*, Tokyo, Jepang.
- Yuhanah, Tri. Devita Mayasari., dan Budi Wicaksono. 2018. *Pengaruh Penambahan Fly Ash, Dodol Plastik, Mille Scale Dan Superplasticizer Terhadap Kuat Lentur Beton*. Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik – PLN.